DOI: 10.47094/COBRAMSEG2026.2/29

Transformação Digital na Mineração: Aplicação da Microsoft Power Platform na Gestão de Projeções Financeiras e Medições de Geotecnia e Geologia

Moises de Araujo Santos Jacinto
Analista Gestão de Contratos, Vale S.A., Parauapebas - PA, Brasil, moises.jacinto@vale.com

Odilaine Teixeira Freitas
Engenheira Especialista, Vale S.A., Itabira - MG, Brasil, odilaine.freitas@vale.com

Bruna da Costa Silva
Engenheira de Planejamento, Concremat, Parauapebas - PA, Brasil, c0702824@vale.com

Fernando Antônio de Oliveira
Analista de Processos, Concremat, Parauapebas - PA, Brasil, c0701387@vale.com

Francisco Stenio Gonçalves Rodrigues
Gerente de contratos Geociências e Sondagem, Vale S.A., Parauapebas - PA, Brasil, francisco.stenio@vale.com

RESUMO: A indústria da mineração vive um ciclo acelerado de Transformação Digital impulsionado pela automação, conectividade, inteligência analítica e plataformas digitais, conforme apontado pela literatura técnica e por organismos internacionais. Nesse contexto, plataformas *low-code* ganham destaque por possibilitarem o desenvolvimento ágil de aplicações corporativas com rastreabilidade, padronização e integração entre áreas. Este estudo apresenta a implantação de um ecossistema baseado na Microsoft Power Platform para gestão de projeções financeiras e medições técnicas na Diretoria de Sondagem e Geociências de uma grande operação de mineração, integrando Power Apps, Power Automate, SharePoint, Forms e Power BI sob diretrizes de ALM, DLP, RBAC e boas práticas de governança.A pesquisa, realizada entre 2024 e 2025, combinou métodos quantitativos e qualitativos e avaliou três versões evolutivas do aplicativo (1.0, 2.0 e 3.1). A versão final apresentou melhorias significativas em desempenho, navegação, padronização de campos, validações técnicas e financeiras e histórico imutável por registro, reduzindo inconsistências e retrabalhos, além de ampliar a auditabilidade. A integração com Power BI proporcionou um pipeline analítico estruturado em camadas RAW, tratada e métricas, permitindo dashboards com indicadores de ciclo, SLA, *throughput*, volumetria e aderência entre valores projetados e executados.Os resultados demonstram maturidade operacional, com tempo médio de medição de 11 dias por administrador e aderência global de 91,49% entre a projeção de 2025 (≈ R$ 1,2 bilhão) e o valor aprovado (≈ R$ 1,067 bilhão). A baixa variabilidade entre administradores evidencia a consolidação do processo após a evolução da plataforma. Elementos como histórico rastreável, controles de permissão e padronização de unidades reforçam conformidade com recomendações nacionais de auscultação geotécnica, garantindo maior consistência para análises e auditorias. O estudo confirma que a Transformação Digital, quando apoiada por governança e arquitetura analítica robusta, aumenta a confiabilidade, transparência e eficiência na gestão contratual e financeira em geotecnia e geologia. A solução demonstra escalabilidade e potencial de replicação, alinhando-se às tendências de *digital geotechnics* e preparando terreno para futuras integrações, como gêmeos digitais e automações avançadas.

PALAVRAS-CHAVE: Transformação Digital; Power Platform; Geotecnia; Mineração.

ABSTRACT: The mining industry is experiencing an accelerated cycle of Digital Transformation driven by automation, connectivity, analytical intelligence, and digital platforms, as highlighted by technical literature and international organizations. In this context, low-code platforms have gained prominence by enabling the rapid development of corporate applications with traceability, standardization, and cross-department integration. This study presents the implementation of an ecosystem based on Microsoft Power Platform for

managing financial projections and technical measurements within the Drilling and Geosciences Directorate of a major mining operation, integrating Power Apps, Power Automate, SharePoint, Forms, and Power BI under ALM, DLP, RBAC, and governance best practices.The research, conducted between 2024 and 2025, employed quantitative and qualitative methods and evaluated three evolutionary versions of the application (1.0, 2.0, and 3.1). The final version achieved significant improvements in performance, navigation, field standardization, technical-financial validations, and immutable historical records, reducing inconsistencies and rework while enhancing auditability. The integration with Power BI enabled the development of a robust analytical pipeline structured in RAW, transformed, and metrics layers, supporting dashboards with indicators such as cycle time, SLA, throughput, volumetrics, and alignment between projected and executed values.
Results demonstrate operational maturity, with an average measurement time of 11 days per administrator and an overall adherence rate of 91.49% between the 2025 projection (≈ BRL 1.2 billion) and the approved amount (≈ BRL 1.067 billion). The low variability between administrators reinforces process consolidation after the platform's evolution. Elements such as traceable history, permission controls, and standardized units align with national recommendations for geotechnical monitoring, ensuring greater consistency for analyses and audits.The study confirms that Digital Transformation, when supported by strong governance and a consistent analytical architecture, enhances reliability, transparency, and efficiency in contractual and financial management in geotechnics and geology. The solution demonstrates scalability and replication potential, aligning with emerging trends in digital geotechnics and paving the way for future integrations such as digital twins and advanced automations.

KEYWORDS: Digital Transformation; Power Platform; Geotechnics; Mining.

1 INTRODUÇÃO

A indústria de mineração atravessa um novo ciclo de inovação, marcado pela convergência entre automação, IA/analytics, conectividade ambígua e plataformas digitais, com evidências de ganhos quando tais iniciativas saem do laboratório e alcançam escala operacional (GLOBAL MINING REVIEW, 2025; WORLD ECONOMIC FORUM, 2023). Esse movimento insere-se no paradigma da Indústria 4.0 e da "mina inteligente", enfatizando workforce digital, plataformas integradas, sensores/IoT e analytics de próxima geração, com benefícios reportados em produtividade, segurança e tomada de decisão desde que acompanhados por governança e interoperabilidade (WORLD ECONOMIC FORUM, 2017; DELOITTE, s.d.). Se no paradigma da Indústria 4.0 e da "mina inteligente", enfatizando workforce digital, plataformas integradas, sensores/IoT e analytics de próxima geração, com benefícios reportados em produtividade, segurança e tomada de decisão desde que acompanhados por governança e interoperabilidade (WORLD ECONOMIC FORUM, 2017; DELOITTE, s.d.).

No plano de tecnologia de aplicação, plataformas low-code têm sido adotadas para acelerar automação e padronização, inclusive em cenários de missão crítica, com destaque para maturidade de recursos de ALM, telemetria, conectores corporativos e controles de segurança; relatórios de mercado registram a Microsoft como líder recorrente no segmento, refletindo a evolução do ecossistema Power Platform (GARTNER, 2024; MICROSOFT, 2024). A documentação oficial da Microsoft descreve diretrizes de Application Lifecycle Management (ALM), segmentação de ambientes, uso de solutions e pipelines, além de políticas de Data Loss Prevention (DLP) e práticas de CoE para equilibrar agilidade e controle (MICROSOFT LEARN, s.d.; MICROSOFTDOCS, 2026).

Em geotecnia e geologia, a digitalização de medições avança com informações conectadas, monitoramento contínuo, ao mesmo tempo em que a literatura técnica aponta desafios de interoperabilidade, qualidade de dados e integração em tempo real, reforçando a necessidade de dados governados, rastreáveis e auditáveis (WANG; TIAN, 2024; WANG; REZAEI; HICKS, 2025). Nesse escopo, Power BI tem sido empregado para consolidar dados geotécnicos e apoiar relatórios interpretativos/dashboards de indicadores, aproximando operação e decisão (FATEHNIA, 2022; NEXACU, 2024).

No Brasil, recomendações técnicas divulgadas em Cobramseg destacam a importância de auscultação confiável, rastreável e com precisão adequada para estruturas de mineração (barragens, cavas, pilhas), convergindo com a necessidade de processos governados e histórico imutável para sustentação das análises e da tomada de decisão (CARDOSO; GIORGINI; DE PAULA, 2022; DE FREITAS; DE FREITAS, 2024).

É nesse contexto que essa pequisa relata a implantação, evolução e resultados de um ecossistema Power Platform na Diretoria de Sondagem e Geociências em uma multinacional, voltado à gestão de projeções financeiras e medições técnicas em Sondagem e Geociências, com governança corporativa (DLP, ALM, RBAC) e integração analítica, contribuindo com evidências empíricas para a literatura setorial e com diretrizes replicáveis para aplicações similares

2 FORMATOS ESPECÍFICOS

2.1 Contextualização

Configura-se como pesquisa aplicada e estudo de caso único, conduzido entre fevereiro/2024 a novembro/2025 no fluxo real de Medições da Diretoria de Sondagem e Geociências em uma multinacional, englobando usuários finais, aprovadores, administradores e dados operacionais processados nas versões 1.0, 2.0 e 3.1 do aplicativo. A abordagem metodológica combinou técnicas quantitativas e qualitativas articuladas a um regime de ALM em Power Platform, com segmentação de ambientes (Desenvolvimento, Homologação/UAT, Produção), versionamento via solutions e pipelines e políticas de DLP e RBAC, conforme diretrizes oficiais (MICROSOFT LEARN, s.d.).

No eixo quantitativo, foram construídos modelos analíticos em Power BI a partir de listas SharePoint (operacionais, parâmetros e histórico), incluindo camada bruta (RAW), camada tratada e tabelas de métricas (ciclo, SLA, throughput e volumetria). Os indicadores foram avaliados por período, fornecedor, contrato e status, com exportações periódicas e agendamentos, bem como análises comparativas entre versões para aferir ganhos de desempenho, redução de inconsistências e eliminação de retrabalho (FATEHNIA, 2022).

No eixo qualitativo, empregaram-se formulários padronizados (críticas, elogios e sugestões) e sessões estruturadas de walkthrough com usuários e aprovadores, além de análises heurísticas de usabilidade. As evidências qualitativas foram trianguladas com os indicadores para alimentar a priorização de backlog pelo comitê multidisciplinar e orientar decisões de interface (navegação em até quatro cliques), padronização de campos e reforço de rastreabilidade (histórico imutável por registro).

Do ponto de vista técnico, adotaram-se boas práticas de desempenho e escalabilidade em Power Apps (delegação, redução de chamadas redundantes e substituição de coleções locais por interação direta com o repositório) e fluxos assíncronos em Power Automate, além de telemetria e trilhas de execução para auditoria. Essas escolhas alinham-se às recomendações de ALM e Governança para plataformas lowcode em ambientes corporativos (MICROSOFT LEARN, s.d.; GARTNER, 2024). Essas escolhas alinham-se às recomendações de ALM e Governança para plataformas low-code em ambientes corporativos (MICROSOFT LEARN, s.d.; GARTNER, 2024).

2.1.1 Ambiente e Ferramentas

- Power Apps: interface, lógica de negócio, validações técnicas-financeiras, navegação e perfis.
- Power Automate: automações, notificações, registros auxiliares e integrações.
- SharePoint: repositório estruturado de listas, parâmetros, anexos e histórico.
- Microsoft Forms: captura padronizada de dados financeiros.

Power BI: modelagem e dashboards de indicadores (ciclo, SLA, *throughput*, volumetria).

O desenho segue recomendações de ALM, DLP e CoE para ambientes controlados e governança ativa (MICROSOFT LEARN, s.d.; MICROSOFTDOCS, 2026).

2.1.2 Desenvolvimento do Aplicativo e Evolução

Linha do tempo (1.0 → 2.0 → 3.1)

- Workflow Medições (1.0) – Prototipagem: registro básico de medições, layout simples, sem integrações externas, lista única no SharePoint e validações mínimas.

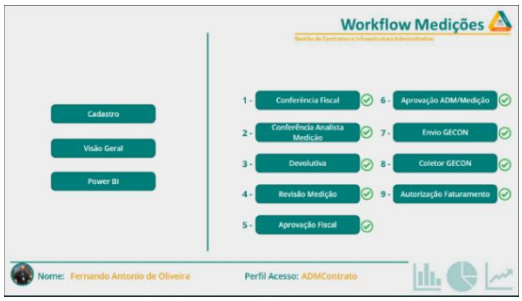


Figura 1. Tela do aplicativo versão 1.0.

- Workflow Medições 2.0 – Primeira revisão estruturada: reformulação de layout; validações técnicas e financeiras; anexos obrigatórios contextuais; primeiros fluxos de automação em Power Automate.



Figura 2. Tela do aplicativo versão 2.0.

- Workflow Medições 3.1 – Salto técnico: navegação reorganizada; histórico completo e imutável por registro; padronização de campos; delegação e otimizações; controles robustos de permissão; integração formal ao Power BI; eliminação de retrabalho por inconsistências; substituição de coleções locais por interação direta com repositório e fluxos assíncronos.



Figura 3. Tela do aplicativo versão 3.1.

2.1.3 Principais funcionalidades (v. 3.1)

- Cadastro estruturado com validações técnicas e financeiras.
- Consolidação automática de valores medidos, glosados e acumulados.
- Regras corporativas (dependência entre etapas, limites, validação cruzada, anexos contextuais).
- Histórico imutável por registro (usuário, data, ação, valores).
- Perfis e permissões (contratos e financeiro).
- Prevenção de erros: duplicidades, conflitos de data, inconsistências e obrigatórios não preenchidos.
- Confidencialidade.

2.1.4 Robustez técnica

- Validação rigorosa de campos críticos.
- Permissões combinadas (SharePoint + lógica de app).

- Padronização de unidades via listas auxiliares.
- Tratamento de nulos/inconsistências com alertas automáticos.
- Arquitetura para escala: delegação, dados operacionais vs. analíticos, fluxos assíncronos. A abordagem está alinhada às boas práticas de ALM/governança para plataformas lowcode (MICROSOFT LEARN, s.d.).

2.1 Integração com Power BI

A integração com o Power BI constitui um dos pilares centrais da solução, pois transforma o fluxo operacional de medições em inteligência acionável para gestão técnica e financeira. O pipeline analítico exporta automaticamente medições, histórico detalhado, parâmetros e listas auxiliares, além de indicadores computados por automação, garantindo atualização programada e contingência manual para dados críticos. A modelagem em camadas RAW, tratada e métricas assegura segurança, versionamento e proteção contra edições manuais, preservando a integridade dos dados mesmo em contextos de alta complexidade operacional.

Essa integração é decisiva porque eleva o processo de medição a um patamar analítico estruturado, permitindo que informações antes dispersas em planilhas, e-mails ou registros isolados passem a compor um ecossistema único, governado e consultável em tempo quase real. Os dashboards derivados desse modelo oferecem visões estratificadas por período, fornecedor, contrato e status, além de análises aprofundadas de ciclo, SLA, *throughput* e volumetria. Com isso, gestores conseguem identificar gargalos, antecipar desvios, comparar desempenhos entre executores e tomar decisões embasadas em evidências reduzindo subjetividades e aumentando a previsibilidade operacional. (FATEHNIA, 2022; NEXACU, 2024).

A importância dessa integração vai além do monitoramento: ela cria um mecanismo contínuo de retroalimentação do processo. As análises fornecidas pelo Power BI orientam melhorias no fluxo, calibram regras internas, aprimoram validações e suportam auditorias, garantindo que ajustes necessários sejam identificados e implementados de forma sistemática. Trata-se, portanto, de um elemento essencial para a maturidade do processo de medições, tornando o sistema mais transparente, auditável e alinhado às melhores práticas de *data governance* e *digital geotechnics* apresentadas na literatura especializada.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Mecanismos causais: do desenho do app ao resultado de negócio

A análise dos indicadores da gestão de contratos e ordens de serviço evidencia um cenário de desempenho consistente, com pontos de estabilidade operacional e oportunidades de aprimoramento no fluxo de medição e execução financeira.

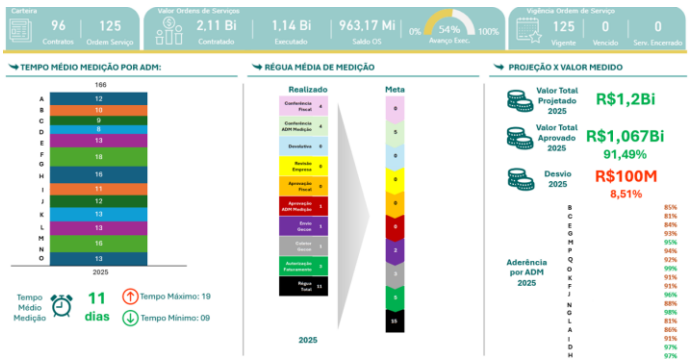


Figura 4. Relatórios Ambiente aplicativo.

- Workflow de Medições 3.1 (salto técnico)
  A navegação reorganizada, a padronização de campos, a delegação de tarefas e os controles robustos de permissões reduziram o esforço cognitivo dos usuários, diminuíram retrabalho e criaram

previsibilidade nas passagens de etapa. O histórico completo e imutável por registro (usuário, data, ação, valores) reforçou a auditabilidade e mitigou contestações, encurtando ciclos de aprovação. A substituição de coleções locais por acesso direto ao repositório corporativo e fluxos assíncronos otimizou a atualização e visualização na tela, ao mesmo tempo em que a integração formal ao Power BI garantiu visibilidade contínua dos indicadores operacionais.

- Funcionalidades críticas (v.3.1).
  O cadastro estruturado com validações técnicas, financeiras e a consolidação automática de valores medidos, glosados e acumulados atuaram como barreiras de qualidade — prevenindo duplicidades, conflitos de data, inconsistências e campos obrigatórios vazios. As regras corporativas (dependências entre etapas, limites, validações cruzadas, anexos contextuais) e os perfis/permissões por papel (contratos e financeiro) elevaram a conformidade e reduziram glosas.
- Robustez técnica e governança
- A arquitetura proposta contemplando escalabilidade com delegação, separação entre dados operacionais e analíticos e uso de fluxos assíncronos está alinhada às boas práticas de ALM e de governança em plataformas low-code, permitindo uma evolução controlada do sistema.
- Além disso, quatro elementos foram fundamentais para garantir a consistência e a confiabilidade dos dados: a validação rigorosa de campos críticos, o modelo combinado de RBAC (SharePoint + regras de negócio), a padronização de unidades por meio de listas auxiliares e o tratamento de valores nulos com alertas automáticos. Esses mecanismos forneceram uma base de dados estável, adequada para medições e projeções futuras.
- Integração analítica (Power BI)
  O pipeline exporta medições, histórico detalhado, parâmetros/listas auxiliares e indicadores computados por automação, com atualização programada e contingência manual para dados críticos. O modelo em camadas (RAW → Tratada → Métricas) preserva segurança, versionamento e proteção contra edições manuais, enquanto os dashboards ampliam a capacidade de gestão (visões por período, fornecedor, contrato e status; análises de ciclo, SLA, throughput e volumetria) (Fatehnia, 2022; Nexacu, 2024).

3.2 Desempenho do processo de medição

O tempo médio de medição por administrador (ADMs anonimizados) foi de 11 dias (mínimo 9, máximo 19). A "régua média" do processo mostrou equilíbrio entre etapas de conferência fiscal, conferência ADM de medição, revisão e aprovações, com autorização de faturamento ao final do ciclo. O histórico imutável por registro e os logs de execução dos fluxos sustentam auditoria e lições aprendidas, contribuindo para o amadurecimento contínuo do processo (WORLD ECONOMIC FORUM, 2017; MICROSOFT LEARN, s.d.).

3.3 Projeções x valores medidos (2025) e aderência

Para 2025, o valor total projetado consolidado foi de ≈ R$ 1,2 bilhão, com valor total aprovado de ≈ R$ 1,067 bilhão, equivalendo a 91,49% de execução frente à projeção e desvio de ≈ R$ 100 milhões (8,51%). A aderência por administradores variou tipicamente entre ~81% e ~97%, com mediana próxima a ~92%, evidenciando baixa variabilidade entre gestores e convergência do processo após a padronização na versão 3.1. Essa consolidação de KPIs críticos (projetado, medido/aprovado, desvio, aderência) respalda a tomada de decisão orçamentária e tática, alinhando-se às recomendações setoriais de analytics e gestão baseada em dados (FATEHNIA, 2022; NEXACU, 2024)

3.4 Importância dos KPIs para decisão e governança corporativa

Os resultados demonstram que a solução integra e orquestra KPIs essenciais ciclo, SLA, *throughput*, aderência, desvios entre projetado e executado, vencimentos e saldo por OS, além de posição de adiantamentos em tempo quase real e com rastreabilidade completa. Em grandes operações de mineração, essa visão unifica finanças e operação, viabilizando priorização dinâmica (ex.: OS >90 dias), mitigações direcionadas (ex.: saldos >30%) e equilíbrio de caixa (ex.: recuperação de adiantamentos). Isso está em linha com a literatura que

posiciona plataformas e analytics como habilitadores de produtividade e transparência quando aliados a governança e escalabilidade (WORLD ECONOMIC FORUM, 2017; 2023; DELOITTE, s.d.).

3.5 Convergência técnico-financeira e lições para geotecnia-financeira e lições para geotecnia

Na cadeia de medições geotécnicas e geológicas, o histórico por registro, a padronização de unidades/serviços e os controles de permissão por perfil diminuem ruídos entre campo, engenharia e finanças, criando lastro de evidências para reconciliações e auditorias. Esse arranjo atende às demandas de auscultação com dados rastreáveis e auditáveis citadas na literatura nacional (COBRAMSEG) e se alinha às tendências de digital geotechnics nas quais dados governados e integráveis formam a base para monitoramento e, futuramente, gêmeos digitais integrados ao processo (WANG; TIAN, 2024; CARDOSO; GIORGINI; DE PAULA, 2022).

3.6 Considerações finais dos resultados

A Transformação Digital na mineração fortalece de forma decisiva a governança financeira ao integrar contratos, medições e custos em um único ecossistema tecnológico. Aplicativos especializados permitem registrar medições de campo com padronização, rastreabilidade e evidências digitais, eliminando divergências entre áreas técnicas, suprimentos e financeiro. A integração entre sistemas viabiliza atualização automática de valores executados, saldo contratual, aditivos e impacto orçamentário em tempo real. Esse fluxo digital reduz discrepâncias, aumenta a acurácia das medições e melhora substancialmente o controle do ciclo de vida dos contratos. Além disso, a digitalização acelera análises de conformidade, suporta auditorias, previne riscos de sobrecustos e fortalece a tomada de decisão com dados estruturados. No conjunto, a Transformação Digital consolida um modelo mais eficiente, transparente e seguro para gestão contratual e financeira aplicada à Geologia e Geotecnia.

4 CONCLUSÃO

A implantação do ecossistema Microsoft Power Platform na gestão de projeções financeiras e medições de geotecnia e geologia demonstrou que soluções low-code, quando associadas a governança robusta (ALM, DLP, RBAC) e arquitetura analítica estruturada, são capazes de gerar ganhos expressivos de padronização, rastreabilidade e eficiência operacional no contexto da mineração. O estudo de caso evidenciou que a evolução do aplicativo da versão 1.0 à 3.1 consolidou um fluxo de trabalho mais confiável, auditável e alinhado às necessidades corporativas, reduzindo inconsistências, eliminando retrabalho e fortalecendo o processo decisório.

Os resultados obtidos, como a média de 91,49% de aderência entre valores projetados e executados e a redução de ciclos por meio de histórico imutável e validações estruturadas, comprovam o impacto direto da digitalização na melhoria do desempenho técnico-financeiro. A integração com Power BI ampliou a visibilidade tática e estratégica, permitindo análises de ciclo, SLA, throughput e volumetria em tempo quase real e subsidiando ações preventivas e corretivas com base em dados confiáveis.

Além disso, o alinhamento do sistema às diretrizes nacionais de auscultação e monitoramento Cobramseg e às tendências internacionais de digital geotechnics reforça o potencial dessas soluções para sustentar futuras camadas de automação avançada e integração com gêmeos digitais. Assim, o estudo demonstra que a Transformação Digital baseada em plataformas integradas não apenas moderniza processos, mas também eleva o nível de governança, segurança e confiabilidade das informações, consolidando um modelo escalável e replicável para operações de mineração que buscam maturidade digital e excelência operacional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACCENTURE. Mining industry digital transformation. [S.l.]: Accenture, 2025. Disponível em: <https://www.accenture.com/us-en/industries/natural-resources/mining>. Acesso em: 11 fev. 2026.

CARDOSO, F. H. C.; GIORGINI, M. G.; DE PAULA, A. Q. Diretrizes para o monitoramento de deformações e deslocamentos em barragens e estruturas de mineração utilizando GNSS. In: COBRAMSEG 2022. [S.l.: s.n.], 2022. Disponível em: <https://proceedings.science/cobramseg-2022/trabalhos/diretrizes-para-o-monitoramento-de-deformacoes-e-deslocamentos-em-barragens-e-es?lang=pt-br>. Acesso em: 11 fev. 2026.

DE FREITAS, I. V. L.; DE FREITAS, G. A. S. C. Revisão metodológica para a análise de monitoramento e instrumentação de barragem de rejeitos de mineração. In: COBRAMSEG 2024. [S.l.: s.n.], 2024. Disponível em: <https://proceedings.science/sites/default/files/callforpapers/fulltext_file/submission-140325-1177130-field_submission_fulltext_file1.pdf>. Acesso em: 11 fev. 2026.

DELOITTE. Digital transformation in mining industry. [S.l.]: Deloitte, s.d. Disponível em: <https://www.deloitte.com/us/en/Industries/energy/perspectives/digital-transformation-mining-industry.html>. Acesso em: 11 fev. 2026.

FATEHNIA, M. Geotechnical data analytics and data mining using Microsoft Power BI. In: Geo-Congress 2022. [S.l.]: ASCE, 2022. Disponível em: <https://www.academia.edu/111179736/Geotechnical_Data_Analytics_and_Data_Mining_Using_Microsoft_Power_BI>. Acesso em: 11 fev. 2026.

GARTNER. Magic Quadrant for Enterprise Low-Code Application Platforms. Stamford, CT: Gartner, 2024. Disponível em: <https://www.gartner.com/en/documents/5844247>. Acesso em: 11 fev. 2026.

GLOBAL MINING REVIEW. McKinsey report highlights technological breakthroughs are creating new tailwinds for innovation in mining and a much-needed boost in productivity. Global Mining Review, 10 dez. 2025. Disponível em: <https://www.globalminingreview.com/mining/10122025/mckinsey-report-highlights-technological-breakthroughs-are-creating-new-tailwinds-for-innovation-in-mining-and-a-much-needed-boost-in-productivity/>. Acesso em: 11 fev. 2026.

MICROSOFT. Microsoft named a Leader in 2024 Gartner® Magic Quadrant™ for Enterprise Low-Code Application Platforms. Redmond, WA: Microsoft, 2024. Disponível em: <https://www.microsoft.com/en-us/power-platform/blog/power-apps/microsoft-named-a-leader-in-2024-gartner-magic-quadrant-for-enterprise-low-code-application-platforms/>. Acesso em: 11 fev. 2026.

MICROSOFTDOCS. Application lifecycle management (ALM) overview – Power Platform. GitHub – MicrosoftDocs/power-platform, 2026. Disponível em: <https://github.com/MicrosoftDocs/power-platform/blob/main/power-platform/alm/overview-alm.md>. Acesso em: 11 fev. 2026.

MICROSOFT LEARN. Application lifecycle management (ALM) with Microsoft Power Platform. Redmond, WA: Microsoft, s.d. Disponível em: <https://learn.microsoft.com/en-us/power-platform/alm/>. Acesso em: 11 fev. 2026.

NEXACU. How is Power BI used in the mining industry? Brisbane: Nexacu, 7 mar. 2024. Disponível em: <https://nexacu.com/insights-blog/how-is-power-bi-used-in-the-mining-industry/>. Acesso em: 11 fev. 2026.

WANG, Y.; TIAN, H.-M. Digital geotechnics: from data-driven site characterisation towards digital transformation and intelligence in geotechnical engineering. Georisk, v. 18, n. 1, p. 8–32, 2024. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/17499518.2023.2278136>. Acesso em: 11 fev. 2026.

WANG, Y.; REZAEI, A.; HICKS, S. Digital twin applications in geotechnical engineering: a systematic review. Machine Learning and Applications in Geotechnical Engineering (Emerald), v. 1, n. 1, p. 78–102, 2025. Disponível em: <https://www.emerald.com/mlag/article-pdf/1/1/78/10277430/mlag-02-2025-0005en.pdf>. Acesso em: 11 fev. 2026.

WORLD ECONOMIC FORUM. Mining and metals: trends, challenges and the way forward. Cologny/Geneva: World Economic Forum, 2023. Disponível em: <https://www.weforum.org/publications/mining-and-metals-trends-challenges-and-the-way-forward/>. Acesso em: 11 fev. 2026.

XXII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
XI Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
24 a 28 de agosto de 2026 – Brasília/DF
DOI: 10.47094/COBRAMSEG2026.2/30

USO DE ANN PARA PREDIÇÃO DE MÓDULO DE RESILIÊNCIA

Pedro Luís da Costa Júnior
Estudante, FEB-UNESP, Guaratinguetá, Brasil, pedro.jr@unesp.br

Prof. Dr. Gabriel Orquizas Mattielo Pedroso
Professor, FEG-UNESP, Guaratinguetá, Brasil, gabriel.pedroso@unesp.br

RESUMO
Na área da geotecnia, especialmente no ramo de pavimentação, reconhece-se a importância de estimar e determinar adequadamente os parâmetros dos solos. Nesse contexto, a aplicação de técnicas de inteligência artificial (IA) tem se mostrado uma ferramenta fundamental, uma vez que, por meio de métodos preditivos, é possível realizar estudos preliminares voltados à avaliação de alternativas de projeto e de seus respectivos parâmetros. O objetivo deste trabalho é predizer o MR (módulo de resiliência) de diferentes solos da classificação MCT (Miniatura, Compactado, Tropical), considerando as condições da variação de umidade pós compactação dos materiais. Diante disso, optou-se pela utilização da IA para estimar esse parâmetro, tendo em vista que a quantidade de experimentos disponíveis é insuficiente para a obtenção de médias representativas e de intervalos de confiança adequados, que assegurem maior precisão e confiabilidade no dimensionamento das camadas do pavimento. Ressalta-se que, com o emprego da inteligência artificial, torna-se possível a realização de um número praticamente ilimitado de simulações, ampliando significativamente o potencial de análise. A aplicação de técnicas de IA, por meio de métodos de aprendizado de máquina, possibilita a estimativa de valores a partir de variáveis de entrada, permitindo, assim, a previsão do módulo de resiliência com base em um banco de dados constituído por resultados experimentais de solos brasileiros. Esse banco de dados contempla todos os tipos de solos classificados segundo o sistema MCT, o que permite a previsão do módulo de resiliência para qualquer solo enquadrado nessa classificação. Atualmente, o banco contém mais de 3.000 registros, distribuídos em diferentes categorias. Cabe ressaltar que, em função da correlação entre algumas variáveis, o número de categorias consideradas foi reduzido, visando à obtenção de um modelo mais otimizado e preciso. As técnicas de previsão empregadas neste estudo incluem as Redes Neurais Artificiais (ANN). Para a avaliação do melhor otimizador da ANN, definiu-se o número de épocas em 200, analisando-se o coeficiente de determinação (R^2) obtido. O otimizador que apresentou melhor desempenho foi o ADAM (Adaptive Moment Estimation), com taxa de aprendizado de 0,0005 e $R^2 = 0,97$. Com esse desempenho, o valor previsto de MR foi de 54,45 MPa, enquanto o valor correspondente na base de dados, para as mesmas variáveis de entrada, foi de 57,83 MPa, resultando em um coeficiente de variação relativo de 5,84% e um erro absoluto de 3,38 MPa.

PALAVRAS-CHAVE: Módulo resiliente; Sucção; Solos não saturados; Inteligência artificial; Técnicas de previsão.

ABSTRACT
In the field of geotechnics, especially in the area of pavement engineering, the importance of accurately estimating and determining soil parameters is recognized. In this context, the application of artificial intelligence (AI) techniques has proven to be a fundamental tool, since, through predictive methods, it is possible to carry out preliminary studies aimed at evaluating design alternatives and their respective parameters. The objective of this work is to predict the MR (resilience modulus) of different soils from the MCT (Miniature, Compacted, Tropical) classification, considering the conditions of post-compaction moisture variation of the materials. Therefore, AI was chosen to estimate this parameter, given that the number of available experiments is insufficient to obtain representative averages and adequate confidence intervals that ensure greater precision and reliability in the design of pavement layers. It should be noted that, with the use of artificial intelligence, it becomes possible to carry out a virtually unlimited number of simulations, significantly expanding the potential for analysis. The application of AI techniques, through machine learning methods, enables the estimation of values from input variables, thus allowing the prediction of the resilience